

2020 年度 風工学研究拠点 共同研究成果報告書

研究分野：屋外環境

研究期間：2020 年度

課題番号：203006

研究課題名（和文）：現在から 2050 年代に至る日中の主要都市の気候変化の予測と将来の都市温暖化の地域特性の比較

研究課題名（英文）：Prediction of urban climates in the 2050s and comparison of regional characteristics of urban warming in major cities in China and Japan

研究代表者：持田灯

交付決定額（当該年度）：300,000 円

1. はじめに

1.1. 研究の背景

- 1) 地球温暖化と、これに伴う海面温度の上昇により、日本近辺で大型台風や集中豪雨の被害が増加している。さらに猛暑が頻発し、2018年の夏は熱中症による救急搬送者数が9万人を超え、従来のヒートアイランド対策の枠組みとは異なる暑熱適応という観点からの検討が必要とされる状況になっている。
- 2) 日本建築学会の「気候変動モデリングWG」では、IPCCの温暖化シナリオを用いた全球気候モデルGCM(Global Climate Model)の解析結果を境界条件とした領域気象モデルWRF(Weather Research and Forecasting)での力学的ダウンスケーリングを行い、日本の主要都市における2050年代の標準気象データを整備した。申請者の持田、共同研究者の玄はこの活動の一環として2050年代の仙台、東京、名古屋等の日本の主要都市の気候予測を行った。
- 3) 我々の結果によれば^{文1)}、将来、東京や仙台沿岸部では熱中症との相関が高いWBGT(Wet Bulb Globe Temperature)が大きく上昇する。そして、その主因は海面温度の上昇により海上で湿度が上昇し、これが海風により沿岸部に輸送されることであると推定された。これは、沿岸都市では冷涼な海風の流入により気温が大幅に低下し暑熱快適性が改善するという、従来の考え方の再検討を迫るものであった。
- 4) 近年、持田は中国からの留学生を数多く受け入れ、広州^{文2)}、武漢^{文3)}の気候解析を実施するとともに、各都市を訪れる機会があり、主要都市の大半が沿岸部に立地し、人口減少過程に入った日本と、内陸にも多くの大都市が点在し、依然として拡大過程にある中国では、今後の都市気候変化の様相が異なるだろうと考えるようになった。そして、日中の都市気候変化の共通点と相違点を分析することは、各都市の特徴を踏まえた合理的な対策を考える上で非常に有益であると考え、本研究を企画した。

1.2. 研究の目的

本研究では、IPCCの地球温暖化シナリオにより想定される、日中の複数都市（東京・仙台、上海・広州・武漢）を対象に、各LCZ区分と地表面被覆（自然被覆率、アルベド）の地表面温度との関係を分析するとともに、その一部の都市については、将来気候・熱収支構造を予測・評価し、適した都市温暖化対策としての海風の利用について、その将来変化を定量的に評価する。

2. 研究の方法

- 1) Local Climate Zone (LCZ) の概念に基づく、地表面境界条件の細分化
Local Climate Zone とは Stewart and Oke ^{文4)}により提案された、都市微気候を特徴づける市街地形態、地表面被覆、排熱条件に基づく区分であり、市街地については10種類、市街地以外の土地利用は地表面被覆に基づいて7種類に分類される。日本と中国の中規模～大規模の都市（東京、仙台、上海、広州、武漢）に対し、LCZに基づき区分した上で地図化したLCZマップを作成し、市街地形態の特徴や、各区分の地表面被覆パラメータ（自然被覆率、アルベド）と地表面温度との関係を分析する。
- 2) LCZを組み込んだ領域気象モデルWRFによる2050年代のメソ気象予測
作成したLCZマップを土地利用条件として組み込んだWRF解析を2000年代と2050年代の仙台を対象に実施し、各年代における熱収支構造の変化を分析する。
- 3) 熱収支構造の分析に基づく各都市に適した都市温暖化対策の解明
各年代の仙台の沿岸部、中心部、内陸部を対象に熱収支構造を分析する。これに基づき海風の気温低減効果について考察する。

3. 研究成果

3.1. 日本及び中国の中～大規模の都市の市街地形態・地表面被覆と地表面温度の関係の評価

3.1.1. LCZ マップに基づく各都市の分析

WUDAPT Level 0 法に基づいて作成した日本と中国の主要都市（東京、仙台、上海、広州、武漢）の LCZ マップ（図 1(a)~(e)）を用いて、各都市の市街地形態に関する分析を実施した。

東京では東京駅を中心として大きく 3 つの円形のエリアに分けることが可能であることが分かった。中心から半径 5 km 圏内は LCZ2 「Compact Mid-rise（高密中層）」が占め、半径 15 km 圏内には LCZ3 「Compact Low-rise（高密低層）」が多くみられる。また、半径 25 km 圏内では、主に LCZ5 「Open Mid-rise（低密中層）」と LCZ6 「Open Low-rise（低密低層）」が確認された。

仙台では、その大半を LCZ3, 6, 7, 8（低層）が占め、仙台駅の東側には LCZ8 「Large Low-rise（工場地域）」が見られた。

上海では全体的に LCZ3~6 に該当する低密な地域がみられ、LCZ1~3 に該当する高密な市街地は Huangpu 川の西側に集中していることが確認された。

広州では主要な駅周辺に LCZ1~3 が集中してみられた。また、LCZ1 と 4、LCZ2 と 5、LCZ3 と 6 等の、高密と低密な地域が隣り合う市街地形態が特徴的であった。

武漢では、Yangtze 川に沿って市街地が形成されていることが確認された。市街地は主に LCZ4 「Open High-rise（低密高層）」及び LCZ5 「Open Mid-rise（低密中層）」が占め、都市の中心部では LCZ2 「Compact Mid-rise（高密中層）」や LCZ3 「Compact Low-rise（高密低層）」が確認できた。市街地の南側の外周では主に LCZ8 「Large Low-rise（工場地域）」がみられた。

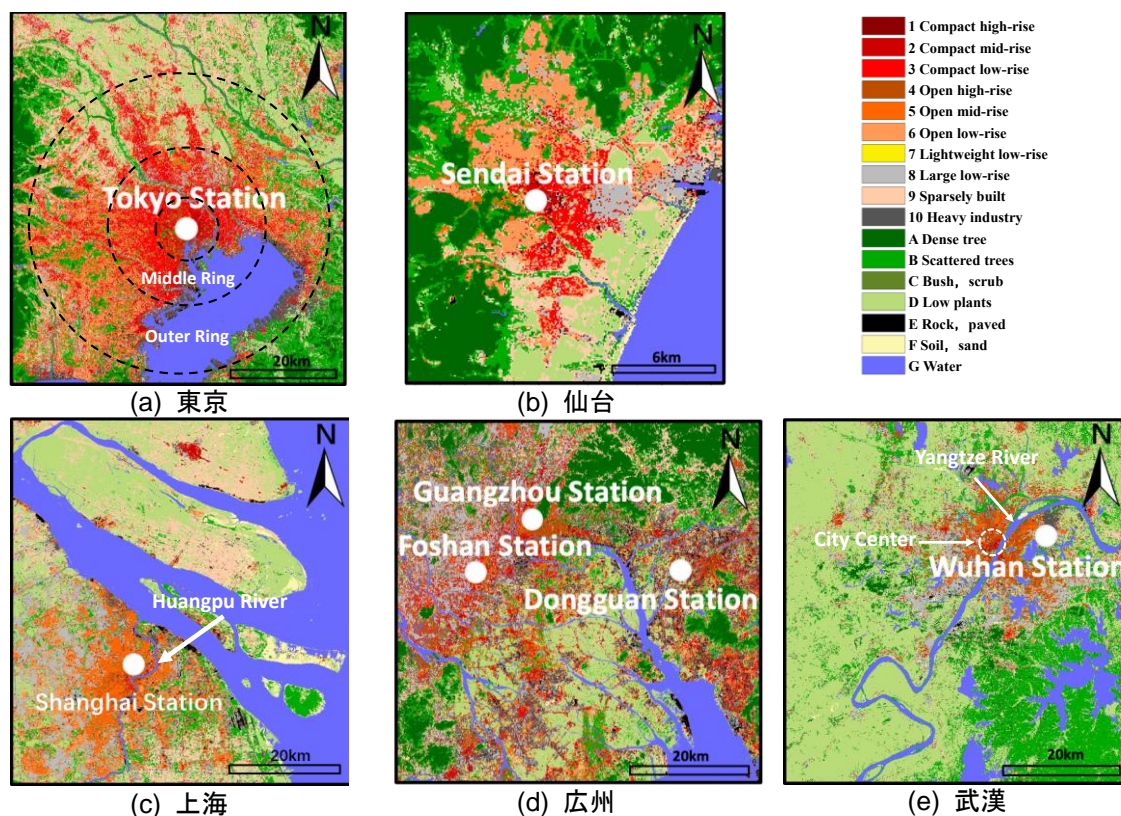


図 1 日本と中国の主要都市の LCZ マップ

3.1.2. 各都市における地表面被覆と地表面温度の関係

地表面被覆（自然被覆率とアルベド）と地表面温度の関係性に関する分析を実施した。図 2(a)に自然被覆率、図 2(b)にアルベドと地表面温度の相関を示す。各相関図におけるプロットはそれぞれ 100m 四方のメッシュごとの空間平均値を表している。

全ての都市において、自然被覆率は地表面温度と負の相関が確認できる。一方で、アルベドに関しては、地表面温度との明確な関係性は確認できなかった。これは、アルベドの値の範囲が狭いことによると考えられる。

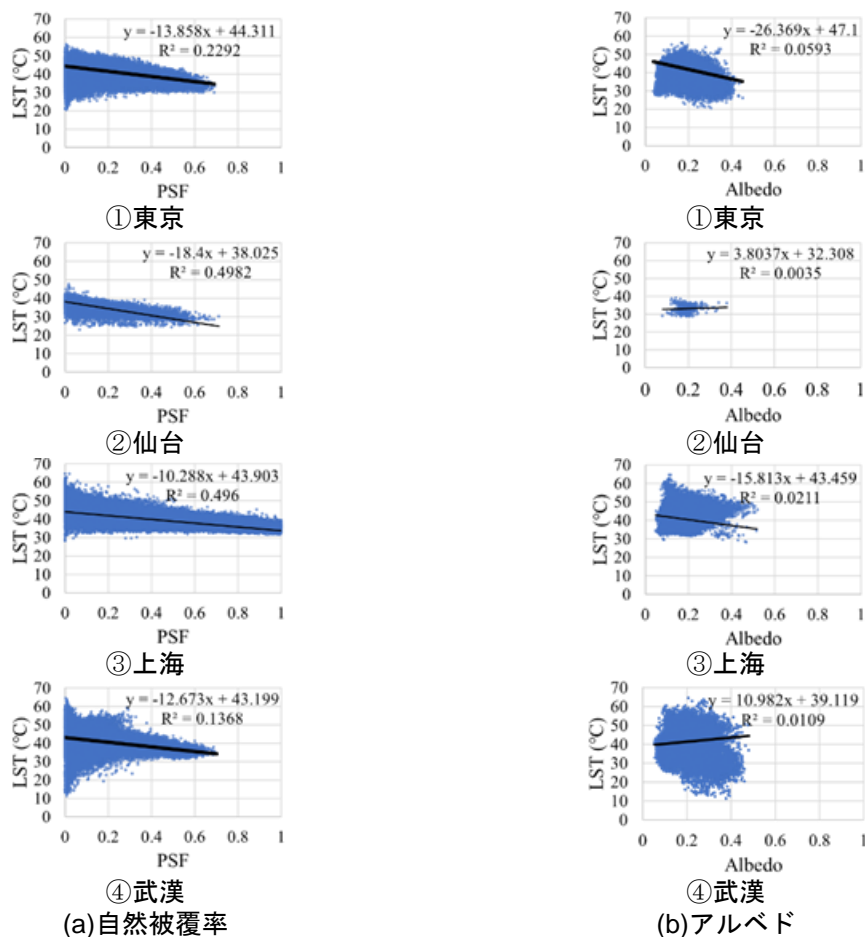


図 2 地表面被覆パラメータと地表面温度の相関図

3.1.3. 各 LCZ と地表面温度の関係

各都市の各 LCZ 区分において観測された地表面温度の空間平均値を図 3(a)～(d)に示す。

全ての都市において、LCZ3「Compact Low-rise（高密低層）」では高い地表面温度が観測された。これは LCZ3 に該当する市街地で自然被覆率とアルベドが低いためであると考えられる。

また、ほとんどの都市では建物高さが高くなるほど、地表面に到達する日射が減少したため地表面温度が低下する傾向がみられたと考えられる。

これについて上海（図 3(c)）では、LCZ5「Open Mid-rise（低密中層）」と LCZ6「Open Low-rise（低密低層）」においては異なる傾向がみられ、中層（LCZ5）より低層（LCZ6）の地表面温度の方が低いという結果となった。これは、LCZ5 より LCZ6 の自然被覆率が非常に高いためであると考えられる。

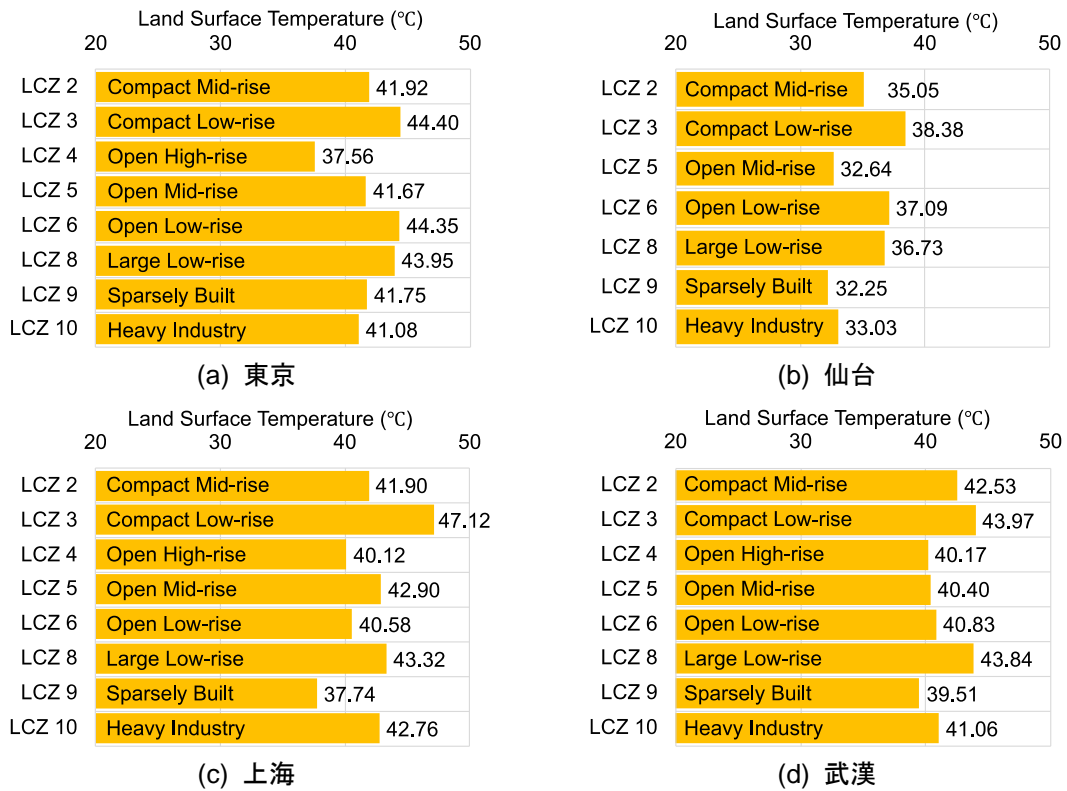


図3 各 LCZ 区分の平均地表面温度

3.2. 都市気候解析による市街地の熱収支分析の実施

作成した LCZ マップを土地利用条件とした WRF 解析を 2000 年代と 2050 年代の仙台を対象に実施した。図 4 に示す都市内の異なるエリアにある特定の計算メッシュ Control Volume (C.V.) (1 km×1 km×約 60m) 毎に熱収支構造の分析を行った。

2000 年代の仙台の沿岸部 (C.V.1)、中心部 (C.V.2)、内陸部 (C.V.3)の一日を通した熱収支と気温の変化を図 5(a)～(c)に示す。これらから、トータルの熱収支 (黒線) が正から負になる時間と気温のピークが現れる時間が一致しており、その時間は沿岸部から内陸部に行くにつれて、後ろにシフトしている。

顕熱および潜熱の熱収支構造の時間変化の将来にかけての変化を図 6 と図 7 に示す。これらから、特に海風の影響を受ける沿岸部(C.V.1)と中心部(C.V.2)において、2000 年代と比較して、顕熱・潜熱の移流成分の値が概ね増加することが分かる。従って、将来にかけて海風 (移流) による気温低減効果が減少し湿度が上昇することが確認された。

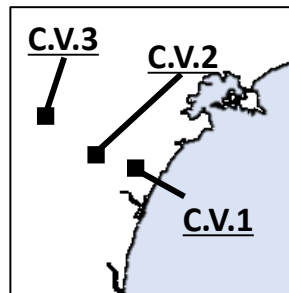


図4 仙台における C.V.の位置

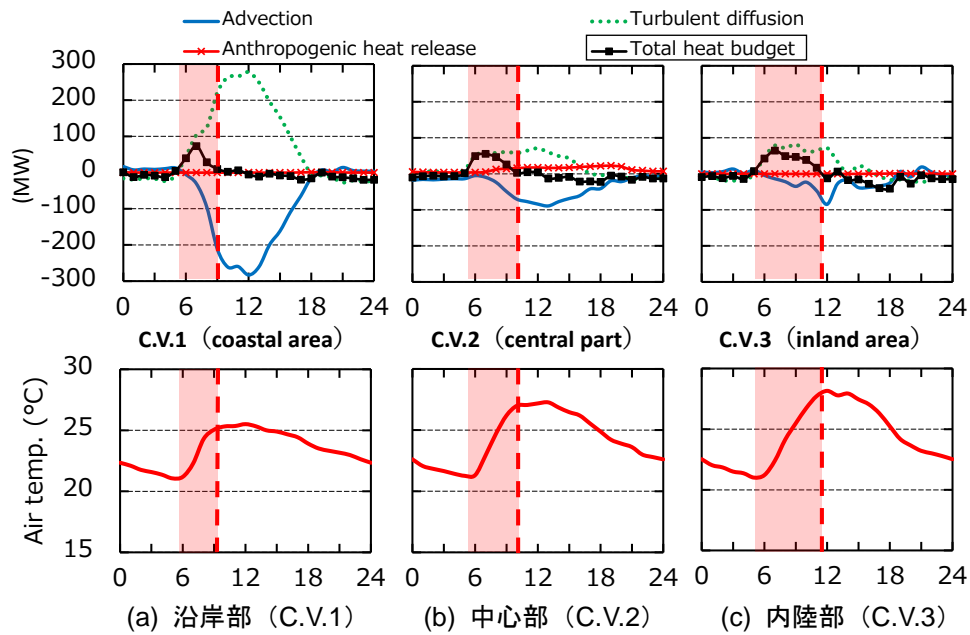


図5 2000年代の仙台の顕熱収支構造の時間変化

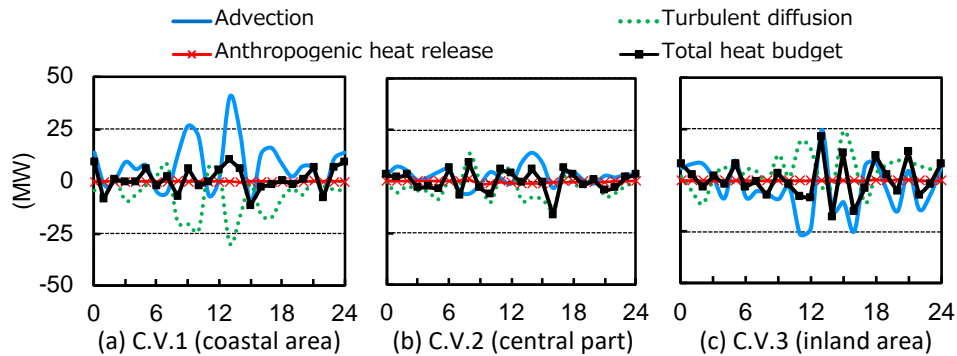


図6 仙台の顕熱収支構造の時間変化の2050年代と2000年代の差

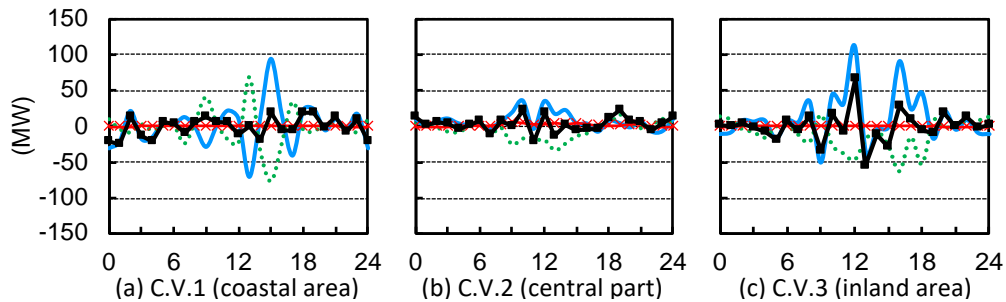


図7 仙台の潜熱収支構造の時間変化の2050年代と2000年代の差

4. 今後の展開

今年度に継続し、2021年度は各種温暖化シナリオ（RCP2.6, 4.5, 8.5）を想定した気象データと作成したLCZマップを土地利用条件としたWRF解析を日本及び中国の都市を対象に展開する。各都市を対象に、将来（2050年代）にかけた市街地の熱収支構造の変化に関する分析を実施する。また、これらの結果を踏まえて、各都市の特性を整理し、各々の都市に適した都市温暖化対策を検討する。

【参考文献】

- 文1) 山本ミゲイル,日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸), pp829-830, 2019
- 文2) Chen, Zhao, Mochida, Urban Heat Island Simulations in Guangzhou, China, Using the Coupled WRF/UCM Model with a Land Use Map Extracted from Remote Sensing Data, Sustainability, 8(7),628, 2016
- 文3) Deng, Zhou, Mochida, Impact of Building Density on Urban Climate in Wuhan City, China, Journal of Habitat Engineering and Design, 6(1),pp53-59, 2014
- 文4) Stewart and Oke, Local Climate Zones for Urban Temperature Studies, Bulletin of the American Meteorological Society, 93 (12), pp1879-1900, 2012

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

- 1. Erina Chiba et al, Analysis of characteristics of urban climate using Local Climate Zone in Japanese and Chinese cities (Part 1), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2021.9
- 2. Zheng Wang et al, Analysis of characteristics of urban climate using Local Climate Zone in Japanese and Chinese cities (Part 2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2021.9
- 3. Yonghang Xie et al, Numerical study on thermal environments in urban space using WRF (Part14), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2021.9

6. 研究組織

(1) 研究代表者

持田灯 (東北大学・大学院工学研究科・教授)

(2) 研究分担者

- 1. 玄英麗 (東京工芸大学・建築学科・助教)
- 2. 石田泰之 (東北大学・大学院工学研究科・助手)
- 3. 謝育全 (東北大学・大学院生)
- 4. 王正 (東北大学・大学院生)
- 5. 千葉絵理奈 (東北大学・大学院生)

7. 要約(Abstract, 英文)

Research Theme: Prediction of urban climates in the 2050s and comparison of regional characteristics of urban warming in major cities in China and Japan

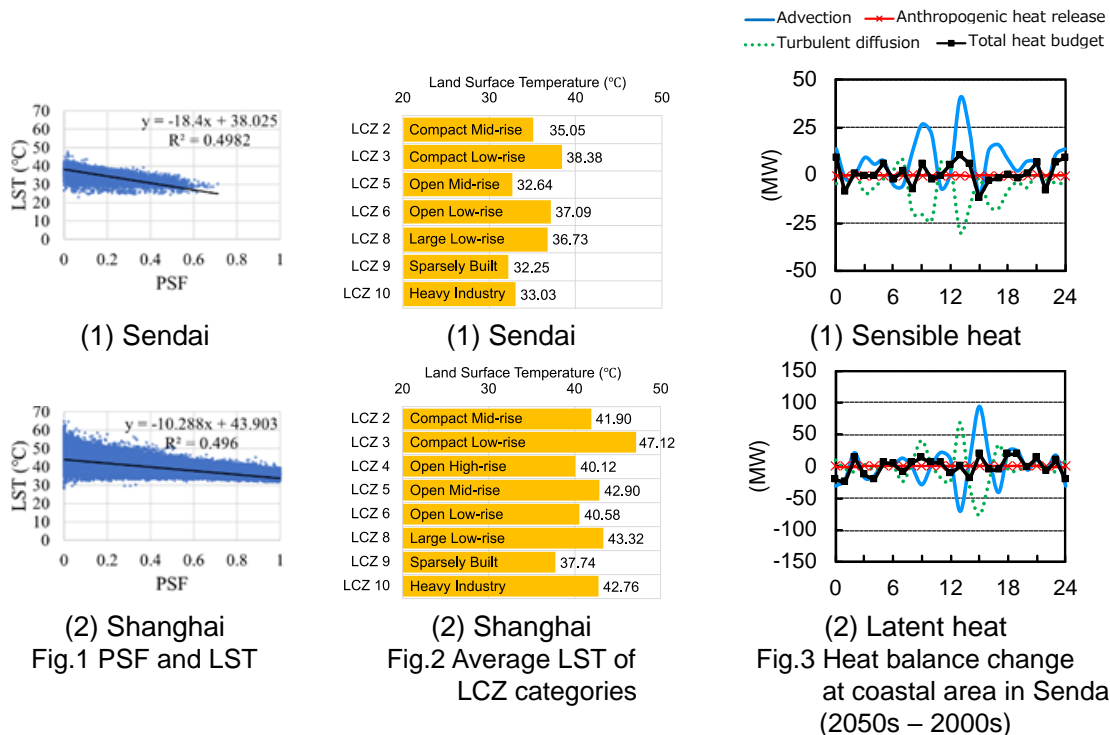
Representative Researcher (Affiliation): Akashi Mochida (Professor, Tohoku University)

1. Research Purpose

This research aims to analyze the characteristics of urban structure and morphology (pervious surface fraction and albedo) in each LCZ category for Japanese and Chinese cities (Tokyo, Sendai, Shanghai, Guangzhou, Wuhan), and quantitatively evaluate the change in the effectiveness of sea breeze as an urban heat island countermeasure in the future (2050s) by predicting the heat balance mechanism at specific areas within a city.

2. Results

- Local Climate Zone (LCZ) maps of Japanese and Chinese cities were produced, and the relationships between the morphology parameters (pervious surface fraction (PSF), albedo) and the land surface temperature (LST) in each category were analyzed. Results showed that pervious surface fraction and land surface temperature have a negative correlation, as shown in Fig.1. Moreover, in general, land surface temperature was observed to decrease as the building height increases. However, for Shanghai, the trend was not seen in some LCZs due to the high pervious surface fraction values in those LCZs (Fig.2). This suggests that pervious surface fraction has a great effect on the land surface temperature of LCZ categories.
- WRF simulations that use land-use data based on LCZ was conducted on Sendai in the 2000s and 2050s. The heat balance structures of control volumes located at the coastal area, central part, and inland area were analyzed. The results showed that the effect of sea breeze to decrease the air temperature of the city will diminish, while humidity was predicted to increase towards the future.



3. Future Research

Following this year, in 2021, WRF simulations that use meteorological data of various RCP scenarios (RCP 2.6, 4.5, 8.5) and the produced LCZ maps for land-use data will be conducted on Japanese and Chinese cities. For each city, an analysis on the change of heat balance mechanism towards the future (2050s) will be conducted. The suitable urban heat island countermeasures will be elucidated by evaluating the results according to the characteristics of each city of interest.